



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

21 Aktenzeichen: 197 03 633.3-31
22 Anmeldetag: 31. 1. 1997
43 Offenlegungstag: 13. 8. 1998
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 12. 12. 2002

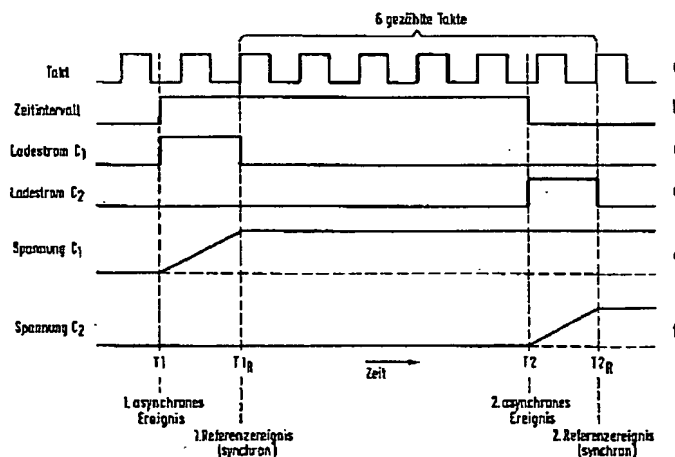
Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Sick AG, 79183 Waldkirch, DE
74 Vertreter:
Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80336 München

72 Erfinder:
Blöbbaum, Frank, 79112 Freiburg, DE; Wetteborn,
Hainer, 79183 Waldkirch, DE
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 38 34 938 C1
DE 36 12 686 C2
JP 02-26 415 A2
SU 9 66 660
SU 8 98 622

54 Verfahren zur Bestimmung eines Zeitintervalls zwischen zwei Ereignissen

57 Verfahren zur Bestimmung eines Zeitintervalls zwischen zwei Ereignissen, bei dem ein digitaler Zähler von einem Taktgenerator beaufschlagt wird, wobei zu Beginn des Zeitintervalls bzw. bei Auftreten des ersten Ereignisses (T_1) ein erster Ladevorgang eines Kondensators (C_1) ausgelöst wird, der erste Ladevorgang des Kondensators (C_1) in Abhängigkeit von einer steigenden oder fallenden Flanke des vom Taktgenerator gelieferten Taktsignals beendet wird, bei Beendigung des Zeitintervalls bzw. bei Auftreten des zweiten Ereignisses (T_2) ein zweiter Ladevorgang des genannten Kondensators oder eines weiteren Kondensators (C_2) ausgelöst wird, der zweite Ladevorgang dieses Kondensators (C_2) in Abhängigkeit von einer steigenden oder fallenden Flanke des Taktsignals beendet wird, mittels des digitalen Zählers die Anzahl der Takte zwischen der den ersten Ladevorgang beendenden Taktflanke und der den zweiten Ladevorgang beendenden Taktflanke ermittelt wird, und das Zeitintervall durch Addition der Dauer des ersten Ladevorgangs und der gezählten Takte und anschließende Subtraktion der Dauer des zweiten Ladevorgangs berechnet wird, wobei zur Vermeidung der Notwendigkeit eines vollständigen Entladens der Kondensatoren sowie zur Eliminierung des Einflusses einer unerwünschten Anfangsladung die Dauer der Ladevorgänge aus der Differenzladung berechnet wird, die dem jeweiligen Kondensator (C_1 , C_2) zwischen dem Beginn und dem Ende eines Ladevorgangs zugeführt wird.



[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines Zeitintervalls zwischen zwei Ereignissen, bei dem ein digitaler Zähler von einem Taktgenerator beaufschlagt wird.

[0002] Problematisch bei derartigen Verfahren ist, daß die Taktrate bekannter Zähler auf einige GHz begrenzt ist, so daß sehr kurze Zeitintervalle nicht exakt bestimmt werden können. Dies ist insbesondere bei der Laserentfernungsmessung auf der Basis des Lichtlaufzeitprinzips störend, da mit den bekannten digitalen Zählern lediglich Lichtlaufzeiten mit einer Genauigkeit im Zentimeterbereich ermittelt werden können.

[0003] Es ist jedoch wünschenswert, auf dem Gebiet der Laserentfernungsmessung eine Genauigkeit im Millimeterbereich zu erzielen.

[0004] Aus der DE 38 34 938 C1 ist ein Zeitintervallmessverfahren bekannt, bei dem die Länge des zu ermittelnden Zeitintervalls rechnerisch aus einem ganzzahligen Vielfachen eines Referenztaktsignals, aus einem Fehlerzeitintervall am Anfang des Messzeitintervalls sowie einem Fehlerzeitintervall am Ende des Messzeitintervalls bestimmt wird. Diese Fehlerzeitintervalle werden bestimmt, indem zunächst während einer Ladephase ein Integrationskondensator mit einer vergleichsweise geringen Ladezeitkonstante und nach Auftreten einer Flanke des Referenztaktsignals mit einer vergleichsweise großen Ladezeitkonstante aufgeladen wird, bis ein überwachter Spannungsschwellenwert überschritten ist. Aufgrund dieser Zweiteilung wird die eigentliche Messgröße, nämlich die Dauer der Ladephase bzw. das Fehlerzeitintervall indirekt aus der Dauer der Ladungsänderungsphase ermittelt.

[0005] Die DE 36 12 686 C2 betrifft ein Verfahren zur Messung von Zeitintervallen, deren jeweilige Dauer durch ein Zeittorsignal bestimmt wird. Hier wird ein Messwert, der durch Zählung von innerhalb des Zeittorsignals begonnenen Taktimpulsen gewonnen wird, mit einem Zusatzwert vorzeichenrichtig addiert, der sich aus der vorzeichenrichtigen Addition eines ersten, der Zeitdauer vom Beginn des Zeittorsignals bis zum ersten innerhalb des Zeittorsignals gezählten Taktimpuls proportionalen Analogmesswerts und eines zweiten, der Zeitdauer vom Ende des Zeittorsignals an bis zum ersten, nicht mehr gezählten Taktimpuls proportionalen Analogmesswerts ergibt. Ein Ladevorgang eines Integrators ist hier lediglich zu Beginn des zu messenden Zeittorsignals vorgesehen.

[0006] Eine Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, ein Verfahren zur Bestimmung eines Zeitintervalls zwischen zwei Ereignissen, insbesondere zwischen der Aussendung und dem Empfang eines Lichtsignals bereitzustellen, welches die Messung sehr kurzer, insbesondere im ps-Bereich liegender Zeiten ermöglicht, ohne daß eventuelle Restladungen innerhalb der verwendeten Kondensatoren zu unerwünschten Fehlmessungen führen. Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

[0007] Im Rahmen der Erfindung wurde also erkannt, daß allein auf der Basis digitaler Zähler arbeitende Zeitmeßeinheiten mit dem Nachteil verbunden sind, daß der Beginn sowie das Ende eines zu messenden Zeitintervalls immer synchron zum Takt des digitalen Zählers liegen muß und zwischen zwei Takten des digitalen Zählers auftretende asynchrone Ereignisse nicht ausreichend genau bestimmbar sind, da sie automatisch immer an den nachfolgenden synchronen Zeitpunkt, nämlich den nachfolgenden Takt des digitalen Zählers verschoben werden. Dieser Nachteil wird dadurch beseitigt, daß zusätzlich zu einem digitalen Zähler auch noch eine analoge Zeitmessung über die Ermittlung der La-

dezeit eines oder mehrerer Kondensatoren zum Einsatz gebracht wird, wobei jeder Ladevorgang unabhängig vom Zustand des digitalen Zählers jeweils in einem asynchronen Vorgang angestoßen und anschließend synchron durch den Takt des digitalen Zählers beendet wird.

[0008] Die Ladezeit der Kondensatoren wird über deren Ladung nach Beendigung des Ladevorgangs berechnet, wobei diese berechnete Zeit – wie erwähnt – dem Zeitintervall zwischen einem asynchronen Ereignis und einem synchronen Takt des digitalen Zählers entspricht.

[0009] Es ist nun im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens möglich, Zeitintervalle zwischen zwei asynchronen Ereignissen sehr genau zu bestimmen, da man erfindungsgemäß die Zeiten zwischen den beiden asynchronen Ereignissen und jeweils einem darauffolgenden synchronen Referenzereignis über die Kondensatorladungen berechnen kann und zudem mittels des digitalen Zählers die Zeit zwischen den beiden synchronen Referenzereignissen bestimmbar ist. Aus diesen Zeiten ist dann durch einfache Addition und Subtraktion die Zeit zwischen den beiden asynchronen Ereignissen sehr exakt bis in den ps-Bereich bestimmbar.

[0010] Bevorzugt ist es, wenn der erste Ladevorgang, welcher durch das erste asynchrone Ereignis ausgelöst wird, nach diesem Ereignis durch die auf dieses Ereignis folgende n-te steigende/fallende Taktflanke beendet wird, wobei gilt $n > 1$.

[0011] In entsprechender Weise ist es vorteilhaft, wenn der zweite Ladevorgang nach dem zweiten asynchronen Ereignis durch die auf dieses Ereignis folgende n-te steigende/fallende Taktflanke beendet wird, wobei ebenfalls gilt $n > 1$.

[0012] Bevorzugt ist $n = 2$.

[0013] Durch die vorstehend genannten Maßnahmen wird erreicht, daß der Ladevorgang eines Kondensators sich immer über mindestens ein Taktintervall des digitalen Zählers erstreckt, was zur Folge hat, daß es aufgrund eines sehr kurzen Ladevorgangs nicht geschehen kann, daß ein Ladevorgang abgeschlossen wird, bevor ein zu Beginn seiner Aufladung auftretender Einschwingvorgang abgeklungen ist. Es wird somit vermieden, daß der genannte Einschwingvorgang die Messung verfälscht, was sich positiv auf die Genauigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens auswirkt.

[0014] Von Vorteil ist es weiterhin, wenn der erste und der zweite Ladevorgang in unterschiedlichen Kondensatoren erfolgen, um auf diese Weise auszuschließen, daß sich die beiden Ladevorgänge gegenseitig beeinflussen, beispielsweise wenn sie kurz aufeinanderfolgen.

[0015] Im Prinzip ist es wünschenswert, die verwendeten Kondensatoren vor Beginn des Ladevorgangs vollständig zu entladen. Dies ist jedoch in der Praxis nicht möglich, da es sich um sehr kleine Kondensatoren in der Größenordnung von 200 pF handelt, die während der Ladevorgänge nur sehr geringe Ladungen speichern. Es verbleibt also nach einem Entladevorgang meist eine Restladung, welche aufgrund der zu ermittelnden kleinen Ladungen durchaus eine relevante Größenordnung aufweist. Ein vollständiges Entladen der Kondensatoren ist insbesondere auch deshalb nicht möglich, da die in einer verwendeten Schaltung zum Einsatz gebrachten elektronischen Schalter grundsätzlich immer zu einem Fließen von Ladungen und somit zu einer unerwünschten Aufladung der Kondensatoren führen.

[0016] Das vorstehend genannte Problem, gemäß dem die Kondensatoren zu Beginn eines Ladevorgangs nicht vollständig entladen sind, wird im Rahmen der Erfindung dadurch gelöst, daß die Dauer der Ladevorgänge nicht aus Absolutladungen der Kondensatoren, sondern aus deren Differenzladung berechnet wird, die den jeweiligen Kondensatoren zwischen dem Beginn und dem Ende eines Ladevorgangs zugeführt werden. Der Einfluß einer unerwünschten

Anfangsladung wird somit eliminiert.

[0017] Weiterhin ist es im Rahmen der Erfindung von Vorteil, wenn als digitaler Zähler ein Pseudo-Random-Zähler verwendet wird. Dies wirkt sich insbesondere dann positiv aus, wenn verschiedene, nach dem erfindungsgemäßen Prinzip arbeitende Zeitmeßeinrichtungen innerhalb eines Chips integriert werden, da die einzelnen Zählvorgänge der verschiedenen Zeitmeßeinheiten durch die Verwendung eines Pseudo-Random-Zählers in der Regel bei unterschiedlichen Zählerständen loslaufen, was die auftretenden Störungen verringert.

[0018] Besonders vorteilhaft ist es, wenn ein beispielsweise auf einem Schieberegister-Prinzip basierender Zähler mit mehreren Speicherzellen verwendet wird, bei dem bei jedem Zählschritt die Anzahl der in den einzelnen Speicherzellen stattfindenden Schaltvorgänge von 0 auf 1 zumindest ungefähr gleich der Anzahl der Schaltvorgänge von 1 auf 0 ist. Insbesondere unterscheiden sich die beiden genannten Anzahlen bei jedem Zählschritt entweder überhaupt nicht oder nur um den Betrag 1. Auf die genannte Weise läßt sich erreichen, daß sich die bei den Schaltvorgängen auftretenden Störungen zumindest weitgehend kompensieren.

[0019] Bei Verwendung eines Pseudo-Random-Zählers können die tatsächlichen, einem herkömmlichen Zähler entsprechenden Zählerstände beispielsweise durch Verwendung einer Lookup-Tabelle ermittelt werden, in der jedem Pseudo-Random-Zählerstand jeweils immer der entsprechende Zählerstand eines herkömmlichen Zählers zugeordnet ist.

[0020] Um zu vermeiden, daß sich Fertigungstoleranzen der verwendeten Kondensatoren oder Toleranzen der für die Ladung der Kondensatoren verwendeten Stromquellen negativ auf die Meßgenauigkeit auswirken und auch um eventuell auftretende Leckströme zu eliminieren, ist es von Vorteil, wenn vor Inbetriebnahme einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. vor Bestimmung eines Zeitintervalls im Rahmen einer Eichmessung die Ladekennlinien der verwendeten Kondensatoren ermittelt werden. Bevorzugt wird jede Kennlinie eines jeden Kondensators durch die Auswertung von zwei, insbesondere von drei oder mehreren Meßpunkten bestimmt.

[0021] Die einzelnen Meßpunkte weisen bevorzugt einen definierten und/oder konstanten zeitlichen Abstand zueinander auf, welcher insbesondere der Länge einer Periode des Taktsignals entspricht. Vorteilhaft ist es, wenn der erste Meßpunkt vom Beginn des im Rahmen der Eichmessung erfolgenden Ladevorgangs einen zeitlichen Abstand aufweist, welcher größer als eine Periode des Taktsignals ist. Insbesondere kann der letztgenannte Abstand beispielsweise drei Perioden des Taktsignals entsprechen.

[0022] Für die Bestimmung der Dauer eines Ladevorgangs wird für jeden Kondensator eine Kennlinie verwendet, welche individuell aus den für den jeweiligen Kondensator ermittelten Meßpunkten durch Interpolation bestimmt wurde. Insbesondere wird hier mit linearer Interpolation, d. h. mit linearen Kennlinien gearbeitet.

[0023] Die Taktfrequenz des im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens verwendeten digitalen Zählers liegt bevorzugt zwischen 50 MHz und 3 GHz, insbesondere zwischen 250 MHz und 1 GHz. Besonders vorteilhaft ist die Verwendung eines digitalen Zählers mit einer Taktfrequenz von ungefähr 750 MHz.

[0024] Falls mit dem erfindungsgemäßen Verfahren der zeitliche Abstand von mehr als zwei aufeinanderfolgenden Ereignissen gemessen werden soll, ist dies durch Einschaltung einer entsprechenden Zahl von Ladevorgängen bzw. Kondensatoren möglich.

[0025] Da in bestimmten Anwendungsfällen des erfindungsgemäßen Verfahrens der zeitliche Abstand von vier aufeinanderfolgenden Ereignissen gemessen werden soll, werden in diesen Fällen vier Ladevorgänge bzw. vier Kondensatoren verwendet. Die vier aufeinanderfolgenden Ereignisse sind meist durch Beginn und Ende von zwei aufeinanderfolgenden Impulsen gekennzeichnet.

[0026] Vorteilhaft ist es, wenn im Rahmen einer Eichmessung parasitäre Laufzeiten ermittelt werden. Hierbei wird mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens der zeitliche Abstand zweier Referenzereignisse T_{1R} und T_{2R} ermittelt, wobei diese beiden Referenzereignisse einen bekannten zeitlichen Abstand zueinander aufweisen. Die parasitären Laufzeiten sind dann problemlos aus der Differenz zwischen dem bekannten und dem ermittelten zeitlichen Abstand berechenbar und bei nach der Eichmessung in der Praxis erfolgenden Messungen insbesondere rechnerisch kompensierbar.

[0027] Im Rahmen der Erfindung ist es von Vorteil, wenn der Zähler, zum Betrieb der gesamten Schaltung benötigte Stromquellen, die den Ablauf kontrollierende Steuerlogik und/oder Referenzimpulsgeneratoren in einem einzigen, gemeinsamen IC angeordnet werden. Auf diese Weise kann erreicht werden, daß die Signallaufzeiten in diesem IC in der Regel kleiner als eine Periode des Taktgenerators sind.

[0028] Von besonderem Vorteil ist es, wenn eine Eichmessung zur Ermittlung der Ladekennlinien der verwendeten Kondensatoren sowie eine Eichmessung zur Ermittlung parasitärer Laufzeiten miteinander kombiniert werden.

[0029] Weitere bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0030] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben; in diesen zeigen

[0031] Fig. 1 zeitliche Verläufe einiger im Rahmen der Erfindung auftretender Signale, und

[0032] Fig. 2 zeitliche Verläufe von im Rahmen einer erfindungsgemäßen Eichmessung auftretenden Signalen.

[0033] In Fig. 1 zeigt das Zeitdiagramm a den zeitlichen Verlauf des den im Rahmen der Erfindung verwendeten digitalen Zähler beaufschlagenden Taktsignals.

[0034] Signal b veranschaulicht das mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens zu bestimmende Zeitintervall, wobei das erste asynchrone Ereignis zum Zeitpunkt T_1 den Beginn des Zeitintervalls bei steigender Flanke des Signals b und das zweite asynchrone Ereignis zum Zeitpunkt T_2 das Ende des Zeitintervalls bei fallender Taktflanke des Signals b kennzeichnet. Der zu bestimmende Zeitraum erstreckt sich also von T_1 bis T_2 .

[0035] Mit Auftreten des ersten asynchronen Ereignisses zum Zeitpunkt T_1 setzt gemäß Signal c der Ladestrom eines ersten Kondensators C_1 ein, was durch die steigende Flanke des Signals c veranschaulicht wird.

[0036] Der Ladestrom des Kondensators C_1 wird nun jedoch nicht durch die nächste steigende Taktflanke (Signal a) beendet, sondern erst durch die übernächste steigende Taktflanke zum Zeitpunkt T_{1R} . Diese übernächste steigende Taktflanke stellt das erste synchrone Referenzereignis dar.

[0037] Der Kondensator C_1 wird demzufolge von dem Ladestrom gemäß Signal c über einen Zeitraum geladen, welcher dem zeitlichen Abstand zwischen dem ersten asynchronen Ereignis und dem ersten synchronen Referenzereignis entspricht.

[0038] Der durch das Signal d veranschaulichte Ladestrom des zweiten Kondensators C_2 setzt mit dem zweiten asynchronen Ereignis zum Zeitpunkt T_2 ein, was durch eine entsprechende steigende Flanke des Signals d veranschaulicht ist.

[0039] Auch der Ladestrom des zweiten Kondensators C_2

wird nicht mit der nächsten steigenden Taktflanke (Signal a) beendet, sondern erst mit der übernächsten steigenden Taktflanke, welche zum Zeitpunkt T_{2R} auftritt. Diese, zum Zeitpunkt T_{2R} auftretende Taktflanke stellt das zweite synchrone Referenzereignis dar, welches den Ladestrom des zweiten Kondensators C_2 (Signal d) beendet.

[0040] Die Ladezeit des zweiten Kondensators C_2 entspricht somit dem zeitlichen Abstand zwischen dem zweiten asynchronen Ereignis und dem zweiten synchronen Referenzereignis.

[0041] Das Signal e veranschaulicht, daß die Spannung am Kondensator C_1 ausschließlich während derjenigen Zeit steigt, in welcher der Kondensator C_1 gemäß Signal c mit einem Ladestrom beaufschlagt ist.

[0042] Entsprechendes zeigt das Signal f für den Kondensator C_2 .

[0043] Ein Vergleich der Signale c und e bzw. d und f zeigt, daß die am Ende eines Ladevorgangs an einem der Kondensatoren C_1 oder C_2 anliegende Spannung proportional zu derjenigen Zeit ist, in der der jeweilige Kondensator mit Ladestrom beaufschlagt wurde. Folglich ist die Ladung des Kondensators C_1 proportional zu der zwischen dem ersten asynchronen Ereignis und dem ersten Referenzereignis verstrichenen Zeit, während die Ladung am Kondensator C_2 proportional zu der zwischen dem zweiten asynchronen Ereignis und dem zweiten Referenzereignis verstrichenen Zeit ist.

[0044] Der im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens verwendete digitale Zähler wird derart angesteuert, daß die Takte zwischen dem ersten synchronen Referenzereignis und dem zweiten synchronen Referenzereignis gezählt werden. In dem in der Figur dargestellten Beispiel handelt es sich hierbei um insgesamt sechs Takte. Da die Taktfrequenz des digitalen Zählers bekannt ist, kann ohne weiteres die zwischen dem ersten Referenzereignis und dem zweiten Referenzereignis verstrichene Zeit ermittelt werden.

[0045] Wenn zu dieser letztgenannten Zeit nun die Ladezeit des ersten Kondensators C_1 addiert und von dieser Summe die Ladezeit des zweiten Kondensators C_2 subtrahiert wird, so erhält man als Ergebnis diejenige Zeit, die zwischen dem ersten asynchronen Ereignis zum Zeitpunkt T_1 und dem zweiten asynchronen Ereignis zum Zeitpunkt T_2 verstrichen ist.

[0046] Es ist offensichtlich, daß durch die Verwendung der beiden Kondensatoren C_1 und C_2 der zu ermittelnde Zeitabstand deutlich genauer bestimmt werden kann, als bei Verwendung eines digitalen Zählers ohne zusätzliche analoge Zeitermittlungseinheit, da ein digitaler Zähler lediglich Zeitabstände zwischen Ereignissen ermitteln kann, die synchron zu seinem Taktsignal liegen.

[0047] Insofern läßt sich mit der Erfindung eine deutliche Verbesserung der Genauigkeit von Verfahren zur Bestimmung eines Zeitintervalls zwischen zwei Ereignissen erreichen.

[0048] Fig. 2 zeigt die zeitlichen Verläufe von im Rahmen einer erfindungsgemäßen Eichmessung auftretenden Signalen R und M.

[0049] Das Signal R besteht aus zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Impulsen, deren Länge bzw. deren zeitlicher Abstand bekannt ist. Die Länge beider Impulse beträgt im dargestellten Beispiel fünf Zeiteinheiten, der Abstand der steigenden Flanken der beiden Impulse beträgt 16 Zeiteinheiten. Die steigenden Flanken der beiden Impulse des Signals R treten zum Zeitpunkt T_{1R} bzw. T_{3R} auf, die fallenden Flanken der beiden Impulse treten zu den Zeitpunkten T_{2R} bzw. T_{4R} auf.

[0050] Im Rahmen einer Eichmessung wird eine Schaltung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens

mit dem Signal R beaufschlagt, wobei für jeden Zeitpunkt T_{1R} , T_{2R} , T_{3R} und T_{4R} jeweils ein Ladevorgang in einem separaten Kondensator durchgeführt wird.

[0051] Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens werden dann die entsprechenden Zeiten T_{1M} , T_{2M} , T_{3M} und T_{4M} eines Signals M ermittelt, welche aufgrund der in der Schaltung auftretenden parasitären Laufzeiten nicht mit den Zeiten T_{1R} , T_{2R} , T_{3R} und T_{4R} übereinstimmen.

[0052] Im Rahmen der Eichmessung wird die Dauer des ersten Impulses $T_{2M} - T_{1M}$, die Dauer des zweiten Impulses $T_{4M} - T_{3M}$ sowie der Abstand der beiden steigenden Flanken der beiden Impulse $T_{3M} - T_{1M}$ ermittelt. In dem in Fig. 2 dargestellten Beispiel beträgt bezüglich des Signals M die Länge des ersten Impulses 7 Zeiteinheiten, die Länge des zweiten Impulses 6 Einheiten und der Abstand der beiden steigenden Impulsflanken 15 Zeiteinheiten.

[0053] Demzufolge ergibt sich hinsichtlich der Länge des ersten Impulses eine parasitäre Laufzeit von +2 Zeiteinheiten, hinsichtlich der Länge des zweiten Impulses +1 Zeiteinheit und hinsichtlich des Abstandes der beiden steigenden Impulsflanken -1 Zeiteinheit.

[0054] Die auf diese Weise ermittelten parasitären Laufzeiten können problemlos bei in der Praxis erfolgenden Messungen berücksichtigt und insbesondere rechnerisch kompensiert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines Zeitintervalls zwischen zwei Ereignissen, bei dem ein digitaler Zähler von einem Taktgenerator beaufschlagt wird, wobei zu Beginn des Zeitintervalls bzw. bei Auftreten des ersten Ereignisses (T_1) ein erster Ladevorgang eines Kondensators (C_1) ausgelöst wird, der erste Ladevorgang des Kondensators (C_1) in Abhängigkeit von einer steigenden oder fallenden Flanke des vom Taktgenerator gelieferten Taktsignals beendet wird, bei Beendigung des Zeitintervalls bzw. bei Auftreten des zweiten Ereignisses (T_2) ein zweiter Ladevorgang des genannten Kondensators oder eines weiteren Kondensators (C_2) ausgelöst wird, der zweite Ladevorgang dieses Kondensators (C_2) in Abhängigkeit von einer steigenden oder fallenden Flanke des Taktsignals beendet wird, mittels des digitalen Zählers die Anzahl der Takte zwischen der den ersten Ladevorgang beendenden Taktflanke und der den zweiten Ladevorgang beendenden Taktflanke ermittelt wird, und das Zeitintervall durch Addition der Dauer des ersten Ladevorgangs und der gezählten Takte und anschließende Subtraktion der Dauer des zweiten Ladevorgangs berechnet wird, wobei zur Vermeidung der Notwendigkeit eines vollständigen Entladens der Kondensatoren sowie zur Eliminierung des Einflusses einer unerwünschten Anfangsladung die Dauer der Ladevorgänge aus der Differenzladung berechnet wird, die dem jeweiligen Kondensator (C_1 , C_2) zwischen dem Beginn und dem Ende eines Ladevorgangs zugeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Ladevorgang nach dem ersten Ereignis durch die auf dieses Ereignis folgende n-te steigende/fallende Taktflanke beendet wird, wobei gilt $n > 1$.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Ladevorgang nach dem zweiten Ereignis durch die auf dieses Ereignis folgende n-te steigende/fallende Taktflanke beendet wird, wobei gilt $n > 1$.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß gilt $n = 2$.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als digitaler Zähler ein Pseudo-Random-Zähler verwendet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein insbesondere auf einem Schieberegister-Prinzip basierender Zähler mit mehreren Speicherzellen verwendet wird, bei dem bei jedem Zähler Schritt die Anzahl der in den einzelnen Speicherzellen stattfindenden Schaltvorgänge von 0 auf 1 zumindest ungefähr gleich der Anzahl der Schaltvorgänge von 1 auf 0 ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Anzahl der Schaltvorgänge von 0 auf 1 und die Anzahl der Schaltvorgänge von 1 auf 0 bei jedem Zähler Schritt entweder überhaupt nicht oder nur um den Betrag 1 voneinander unterscheiden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Zählerstände des Pseudo-Random-Zählers mittels einer Lookup-Tabelle in tatsächliche Zählerstände umgerechnet werden.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vor Bestimmung des Zeitintervalls im Rahmen einer Eichmessung die Ladekennlinien der verwendeten Kondensatoren ermittelt werden.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß jede Kennlinie durch die Auswertung von zwei, bevorzugt von drei oder mehr Meßpunkten bestimmt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßpunkte einen definierten und/oder konstanten zeitlichen Abstand zueinander aufweisen, der insbesondere eine Periode des Taktsignals beträgt.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Meßpunkt vom Beginn des im Rahmen der Eichmessung erfolgenden Ladevorgangs einen zeitlichen Abstand größer als eine Periode des Taktsignals, insbesondere einen Abstand von drei Perioden des Taktsignals aufweist.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß für die Bestimmung der Dauer eines Ladevorgangs eine aus den ermittelten Meßpunkten durch Interpolation bestimmte lineare Kennlinie verwendet wird.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Taktfrequenz des digitalen Zählers zwischen 50 MHz und 3 GHz, bevorzugt zwischen 250 MHz und 1 GHz, insbesondere ungefähr 750 MHz beträgt.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der zeitliche Abstand von mehr als zwei aufeinanderfolgenden Ereignissen durch Einschaltung einer entsprechenden Anzahl von Ladevorgängen bzw. Kondensatoren ermittelt wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der zeitliche Abstand von vier aufeinanderfolgenden Ereignissen durch Einschaltung von vier Ladevorgängen bzw. von vier Kondensatoren ermittelt wird.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Rahmen einer Eichmessung zur Ermittlung parasitärer Laufzeiten mittels des Verfahrens nach Anspruch 1 der zeitliche Abstand zweier Referenzereignisse T_{1R} und T_{2R} ermittelt wird, die einen bekannten zeitlichen Abstand zueinander aufweisen, wobei die parasitären Laufzeiten aus der Differenz zwischen dem bekannten und dem er-

mittelten zeitlichen Abstand berechnet werden.

18. Verfahren nach den Ansprüchen 16 und 17, dadurch gekennzeichnet, daß im Rahmen der Eichmessung zur Ermittlung parasitärer Laufzeiten mittels des Verfahrens nach Anspruch 1 der zeitliche Abstand zwischen einem ersten Referenzereignis T_{1R} und einem zweiten Referenzereignis T_{2R} , dem ersten Referenzereignis T_{1R} und einem dritten Referenzereignis T_{3R} , sowie zwischen dem dritten Referenzereignis T_{3R} und einem vierten Referenzereignis T_{4R} ermittelt wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, die ermittelten parasitären Laufzeiten bei nach der Eichmessung erfolgenden Messungen insbesondere rechnerisch kompensiert werden.

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Zähler, Stromquellen, Steuerlogik und/oder Referenzimpulsgeneratoren in einem gemeinsamen IC angeordnet werden.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)

FIG. 1

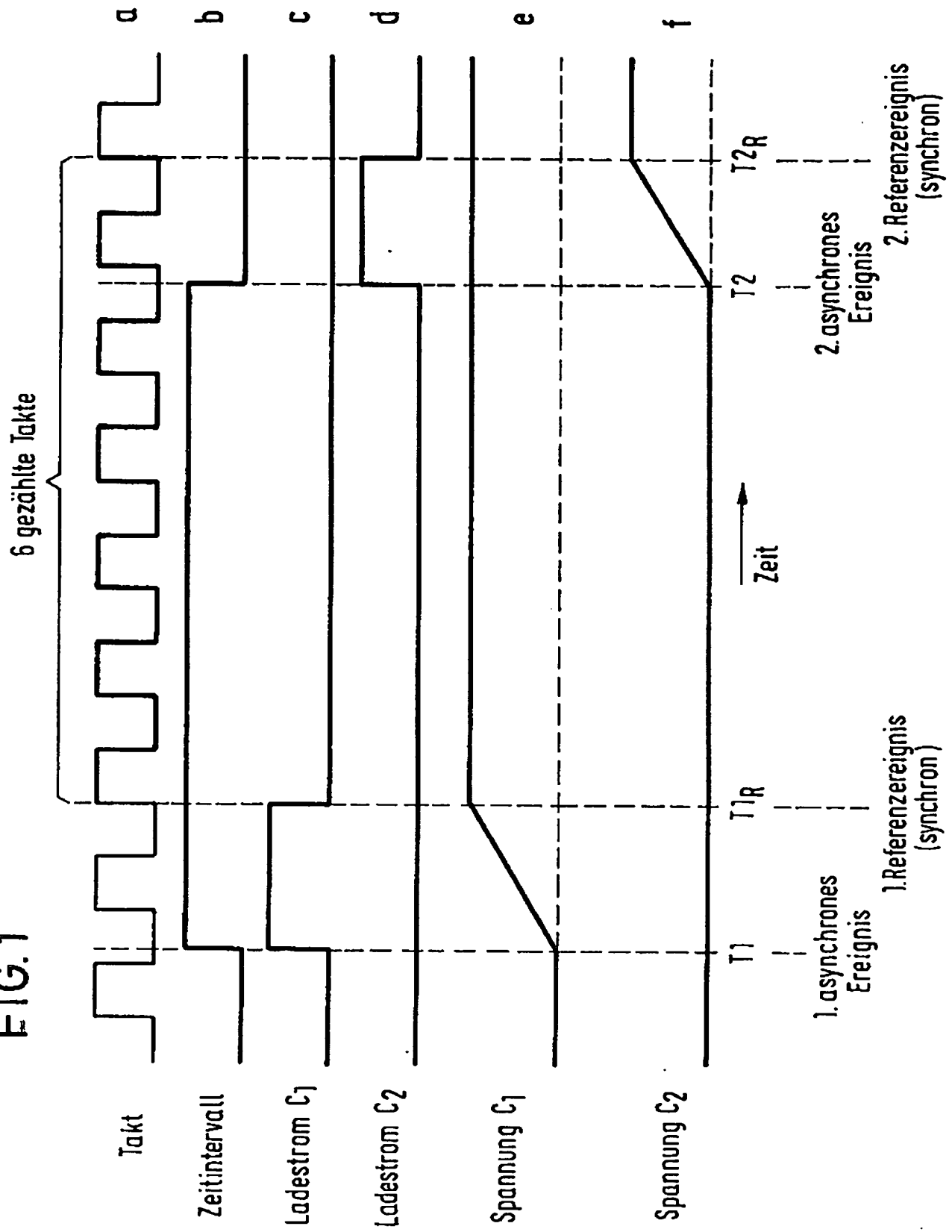
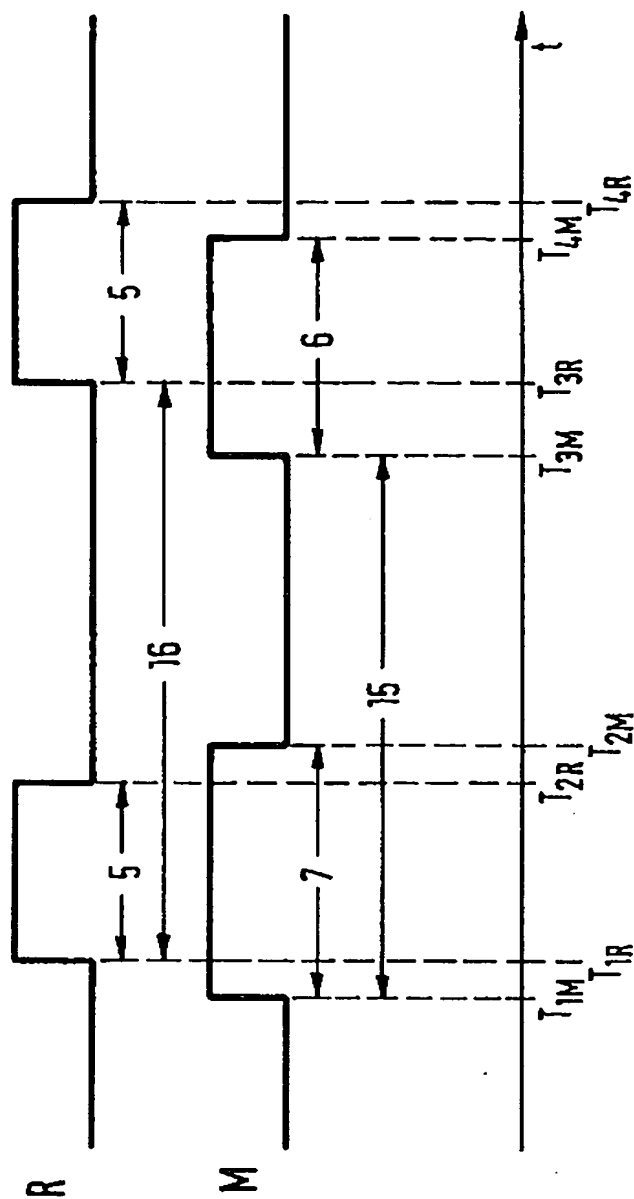


FIG. 2



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.